

输变电设备远程诊断信息平台中的统一状态监测模型研究

谢善益¹, 杨强¹, 梁成辉², 范颖¹

(1. 广东电网公司电力科学研究院, 广东 广州 510600; 2. 威海欣智信息科技有限公司, 山东 威海 264209)

摘要: 针对广东电网公司电力设备远程监测诊断中心(简称“远程诊断中心”)对输变电设备状态监测数据一体化管理的实际需求, 研究提出了输变电设备统一状态监测模型范围及建模原则和方法。基于 IEC TC57 公共信息模型研制出统一信息模型基础, 扩展建立监测装置和监测点模型、电力设备试验报告、缺陷信息、环境监测模型, 补充部分电力系统资源和资产设备技术参数属性, 建立了支撑远程诊断中心信息平台建设和数据分析的完备的统一信息模型。所研究的输变电设备统一状态监测模型已用于远程诊断中心的建设。

关键词: 输变电设备; 状态监测; 统一信息模型

Research of unified condition monitoring information model in data platform of power transmission equipment remote monitoring and diagnosis

XIE Shan-yi¹, YANG Qiang¹, LIANG Cheng-hui², FAN Ying¹

(1. Electric Power Research Institute of Guangdong Power Grid Corporation, Guangzhou 510600, China;

2. Weihai CIMSTech Co., Ltd, Weihai 264209, China)

Abstract: In remote diagnosis center of power transmission and transformation equipment, condition monitoring data needs to be integrated and a unified information model is required. The information model scope and the modeling principle and method are firstly proposed. Then a foundation model are tailored based on IEC TC57 common information model. Additional models such as monitoring point model, equipment test report model, defect report model, environment monitoring model, some power system resource classes and technical parameters of assets are supplemented to the foundation model to make the comprehensive model to support diagnosis platform building and data analysis. The unified condition monitoring information model researched has been used in the construction of the remote diagnosis center.

Key words: power transmission and transformation equipment; condition monitoring; unified information model

中图分类号: TM76

文献标识码: A

文章编号: 1674-3415(2014)11-0086-06

0 引言

基于标准化的电网模型和实时运行数据, 可以对电力设备、变电站和电网的当前运行状态进行监测、风险评估、故障诊断及控制^[1-6]。电力设备和电网的未来运行状态, 则须根据各种输变电设备状态监测系统提供的设备状态信息, 在专有系统或基础平台支持下利用状态评价、故障诊断及趋势预测技术分析。在此基础上实现设备状态检修, 能有效降低输变电设备维修成本、缩短检修停电时间、延长设备寿命、提高电网运行可靠性^[7-10]。

分立建立的针对特定专业、特定输变电设备的

状态监测系统, 可以及时发现目标设备指标异常情况, 是最直接的设备状态数据采集及应用。在渐次建立各类输变电设备状态监测系统的同时, 将电网运行数据和设备运行状态、试验数据、缺陷信息及运行环境监测数据统一描述并规范化地汇集到远程诊断中心, 能够更全面地分析单一设备状态, 还能够进一步分析这些设备组成的电网的状态^[11], 为联合应用设备状态检修和电网状态检修提供支持。

各类输变电设备状态监测系统的描述存在差异, 建设时所基于的基础技术、采用的信息模型不同, 信息归集如果仅采用数据库内数据内容提取、转换、归并的方式, 则只能形成一个集中的数据访

问点,不能支持关联式分析应用。一体化的监测数据分析需要将信息规范化地整合到平台中,其前提即需建立输变电设备统一状态监测模型(UCMM, Unified Condition Monitoring Model)。

针对远程诊断中心对输变电设备状态监测数据一体化管理的实际需求,本文首先确定输变电设备统一状态监测模型范围以及采用的建模原则和方法,之后对统一信息模型的裁制过程、补充内容进行详细描述,并对其如何支撑远程诊断中心信息平台建设给出说明。

1 输变电设备状态监测信息归集范围

为利用各类相关数据实现对输变电设备状态及电网状态的分析,需要全面规范化归集及一体化管理的信息包括:①逻辑电网模型,即以电网设备功能角度抽象描述的电网及设备连接模型;②物理设备数据,包括物理设备台账、生产厂家信息等;③设备状态监测数据,即表征输变电设备自身状态的电气及化学类状态数据;④电网运行数据,设备运行电压、经由设备输送、消耗的电能等;⑤设备缺陷报告;⑥设备试验报告;⑦运行环境数据等等。

这些数据分布于各专业系统如能量管理系统(EMS)、安全生产管理系统、变电设备监测系统、输电设备监测系统、环境监测系统等。其中变电设备监测系统包括变压器在线监测、油色谱在线监测、金属氧化锌避雷器在线监测、断路器在线监测、GIS局放在线监测、容性设备绝缘在线监测等;输电设备监测系统包括输电线路视频监控、线路覆冰预警、导线风偏监测、导线微风振动监测、导线舞动监测、弧垂在线监测、杆塔倾斜监测、绝缘子污秽监测等;环境监测系统包括线路微气象监测、变电站环境监测、雷电监测、山火监测等。输变电设备状态监测信息归集范围需涵盖上述各专业系统。

2 UCMM 构建

输变电设备统一状态监测模型描述的信息属电力系统范畴,包含 IEC 61970、IEC 61968 两部分的 IEC TC57 公共信息模型(Common Information Model, CIM)作为电力系统管理及其信息交换领域国际标准定义的信息模型^[12-13],适合作为 UCMM 裁制基础。

确定输变电设备状态监测信息归集范围后,首先裁制 IEC TC57 CIM 形成 UCMM 的基础模型。采用文献[12]中的建模导则,扩展建立或补充描述状态监测和分析所需的监测点、物理设备及技术参数、

试验报告、环境监测等等信息的类、属性和关联。建模语言采用与 IEC TC57 CIM 一致的统一建模语言(Unified Modeling Language, UML)。本文用 UML 类图描述 UCMM 需重点说明的部分。

2.1 基础模型构建

IEC TC57 CIM 在不断发展和升级,2003 年发布的 CIM10 是第一个广泛使用的稳定版本,至 2013 年最新发布的 CIM16v19(按惯例,以 CIM 联合版本的 61970 部分作为 CIM 版本代称),CIM 版本更迭速度很快,由此带来了应用 CIM 的困惑——研究针对特定业务领域的统一信息模型,如何解决 CIM 中被采纳为业务领域信息模型的模式元素随版本变化问题?一个可行的方案是,以研究时被广泛认可的稳定版本为基础,根据业务需要适当融入其他版本部分模式,使业务领域统一信息模型保持相对稳定。源自不同版本 CIM 及扩展的模式元素,通过命名空间区分。基于以上考虑,UCMM 选择 CIM15v33 作为基准版本,所有源自该基准版本的模式元素命名空间为 <http://iec.ch/TC57/2011/CIM-schema/cim15#>,扩展建立的模式元素命名空间为:<http://www.gd.csg.cn/condmon/2012#>。根据输变电设备状态监测及分析的需要,引入的其他版本(包括未来推出的新版)模式时用其所属命名空间标识。

基础模型包括逻辑电网、物理设备及与之相关的位置、文档、量测等。选取 TC57 CIM 中的电力系统资源(PowerSystemResource)、资产(Asset)、位置(Location)、文档(Document)、组织(Organisation)、量测(Measurement)等六个体系中与输变电设备状态监测相关的子类构成基础模型。电力系统资源描述电力系统的逻辑构成,资产(物理设备)是状态监测的直接目标对象,这两个体系是 UCMM 基础模型中最关键的部分,如图 1(a)所示;量测体系是依附于电力系统资源和资产的辅助体系。图 1(b)为 UCMM 裁制的量测及量测值子类。图 1(c)为被监测的输变电设备模型,均继承自 PowerSystemResource 的子类 Equipment,包括变压器、断路器、电容器、电抗器、电压互感器、电流互感器、交直流线段等等。图 1(d)是与电力系统资源对应的物理设备类。

2.2 监测点扩展建模

输变电设备状态监测通过为目标设备配备在线状态监测装置完成。从数据远程传送角度,状态监测装置可明确为远程单元(RemoteUnit)的一种。状态监测装置建模为 RemoteUnit(子)类型的对象,指代运行于现场的装置整体。表征监测装置运行状态的量测,通过 RemoteUnit 继承的 PowerSystemResource 到 Measurement 的关联设定。

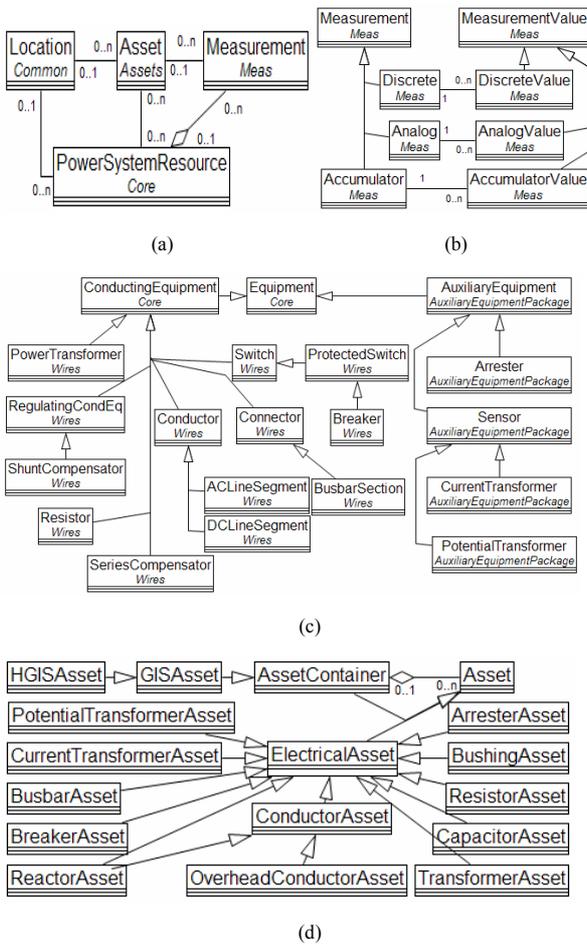


图 1 UCMM 基础模型

Fig. 1 Foundation model of UCMM

监测装置采集的量测通常是反映设备电气或化学特性的特定集合，如果直接挂接到电气设备，会导致表征设备自身状态的量测与表征电网运行的量测在同一级别挂接到电气设备，数据的表义层次不够清晰。为此将特定监测装置采集的监测数据归属于一个“逻辑”的监测点（MonitoringPoint），再通过监测点与设备关联（图 2）。

使用监测点的另一个原因在于，某些特定类型

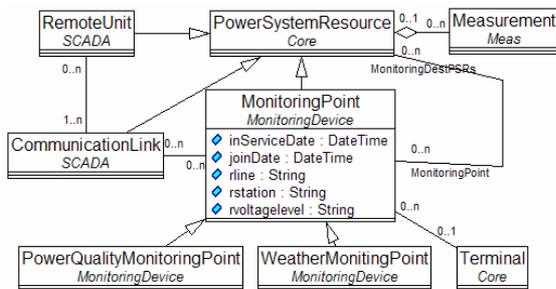


图 2 监测点模型

Fig. 2 Monitoring point model

监测装置采集到的如电能质量、气象信息等监测数据，并非直属于某电气设备，而是与指定电气位置或设备所处环境相关，不应直接关联到电气设备（ConductingEquipment 的子类）。

MonitoringPoint 建模为电力系统资源的子类，以便拥有与监测点绑定的量测。MonitoringPoint 到 PowerSystemResource 的关联，指明该监测点所监测的目标对象。放置监测点的具体电气接点，通过 MonitoringPoint 与 Terminal 的关联描述。除用于归集电力设备的一组监测数据的监测点外，建立特化监测点类型描述电能质量监测点（PowerQuality MonitoringPoint）和气象监测点（WeatherMonitoring Point）等。利用 MonitoringPoint 与 Communication Link 的关联描述监测点的通信通道。

2.3 物理设备及技术参数扩展建模

细化的输电设备分类更能满足精细化输变电设备状态监测与诊断分析的需求。为此 UCMM 在 IEC 61968 CIM 电气设备(ElectricalAsset)子类定义基础上扩展，建立电容式电压互感器、组合式互感器、SF6 电压互感器、SF6 电流互感器、油浸式电流互感器、油浸式电压互感器、光电式电压互感器、光电式电流互感器、油断路器、GIS、HGIS、GIS 气室等等资产子类型。

技术参数扩展方面，IEC 61968 CIM 有一种通用的扩展方式，即通过为资产附加作为性质（Properties）和额定值（Ratings）角色的用户属性（图 3(a)）。这种方式具有最好的可扩展性，但随意性强、语义严谨程度差。UCMM 在物理设备技术参数扩展时，将资产明确拥有、且在输变电设备状态监测及诊断分析时需要使用(非仅仅作浏览目的)的属性直接建立到各类中（图 3(b)），而对于仅以展示为目的的技术参数，仍然采用 IEC 61968 CIM 的技术参数扩展方式。

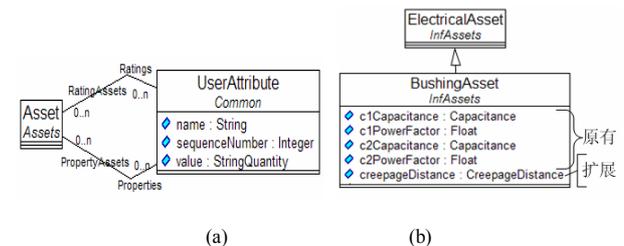


图 3 技术参数扩展方式

Fig. 3 Technical parameter extending method

从系统设计和实现角度看，将确定含义的技术参数（设备的属性）放置到相应的类中，具有显著的优点：①语义明晰，便于利用该参数对电力设备

状态进行深度分析; ②减少碎片化的大量小对象存储; ③提升类对象性质数据取用效率。设备状态分析所需使用的物理设备技术参数由分析算法确定, 具有较高的稳定性, 将这些参数建模到类中不会影响使用相关信息模型的系统的可升级性。

2.4 试验报告、缺陷信息建模

输变电设备的预防性试验、交接试验等试验形成的报告, 是对设备状态进行分析诊断时的重要参考。试验报告整体分为电气专业和化学专业两大类, 相应地按两大专业建模输变电设备试验报告。

试验报告全部作为 `TestDataSet` 类的子类, 而 `TestDataSet` 继承 `ProcedureDataSet`, 是 `Document` 的间接子类。不同设备的试验报告中的共同部分抽象成中间层次的公共父类, 避免在信息模型的不同类型中存在大量同名属性, 如套管绝缘油色谱试验报告类和 CT 等设备的绝缘油色谱试验报告类中的公共部分就抽象为设备绝缘油试验公共继承类。图 4 给出了化学专业的套管、CT、电缆绝缘油色谱试验报告的类继承层次。

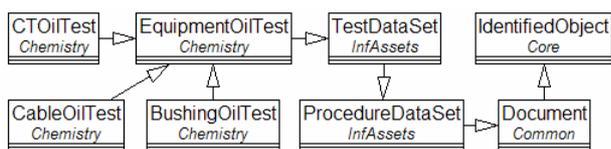


图 4 试验报告继承层次示意图

Fig. 4 Example of test report inheritance

一个输变电设备试验报告的属性数据众多, 建模时枚举所有分相试验数据作为属性、并将相关属性聚合构成数据类, 再由几个数据类通过关联组合到一起形成完整的试验报告。如断路器试验中 A、B、C 相导电回路电阻直接建模为三个属性, 所有机械特性属性聚合成一个数据类, 介质损耗试验、交流耐压试验等方面属性也各自聚合成一个数据类, 再将合闸电阻、介质损耗、机械特性、交流耐压等数据类组合到一起, 形成断路器试验报告。通过属性穷举与属性组数据类合并为试验报告, 实现数据抽象简洁性与数据访问方便性的平衡。

巡视和试验发现的输变电设备缺陷信息 (`DefectDataSet`) 建模为 `ProcedureDataSet` 的子类, 利用继承的 `Document` 到 `PowerSystemResource` 及 `Asset` 的关联指明发生缺陷的设备。属性包括缺陷种类、相别、后果、严重等级、缺陷处理情况、遗留问题及处理意见等等。

2.5 其他关联信息建模

为有效支持输变电设备状态分析, UCMM 还包括支撑设备、制造商、环境监测等信息模型补充。

支撑设备指在电网中起支撑作用的设备, 典型的如杆、塔等。支撑设备不是电气设备, 但其与电网运行密切相关, 常作为监测和运行管理的目标。IEC TC57 CIM 仅将支撑设备建模为结构件资产, 但在实际的运行维护中, 此类设备的功能位置 (电力系统资源角度) 更为应用分析所关注, 因此扩展相应的类, 如图 5 所示。支撑设备作为设备子类, 可被线路等设备容器包含。支撑设备与电力系统资源的关联, 用于描述被支撑的电气或非电气 (如监测点) 电力系统资源。

此外, 建立制造商 (`Manufacturer`) 类作为 `Organisation` 的子类, 以方便将制造商信息与设备维护、管理、运行单位相区分; 建立卫星山火报告 (`SatelliteHotPointReport`) 及热点 (`HotPoint`) 等类描述山火等环境监测数据。

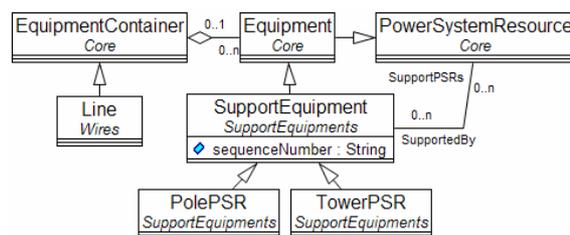


图 5 支撑设备

Fig. 5 Support equipment

3 UCMM 组织与发布

UCMM 的各模式元素分布于 IEC TC57 CIM 已有包和扩展建立的 UCMM 包中。位于 IEC 61970 包中的子包包括 `AuxiliaryEquipment`、`ControlArea`、`Core`、`Domain`、`Meas`、`SCADA`、`Topology` 和 `Wires`; 位于 IEC 61968 中的子包包括 `Assets`、`Common`; 扩展建立的 UCMM 包中包括子包资产和制造商 (`AssetAndManufacturer`)、设备试验 (`EquipmentTest`)、监测装置 (`MonitoringDevice`)、支撑设备 (`SupportEquipment`) 和环境监测 (`Environment`) 等。

UCMM 模式以符合 IEC 61970-501 标准的 CIM RDF Schema 形式发布^[4], 供软件解析或人工查阅。

4 基于 UCMM 的输变电设备远程诊断信息平台

广东电网公司电力科学研究院采用模式驱动开发方法建立了覆盖全省的基于 UCMM 的输变电设备远程诊断信息平台 (简称“平台”)。

关键的技术环节包括: ①分析 UCMM 模型, 采用对象-关系映射算法构建持久化层数据库^[15]; ②在 UCMM 基础上, 确立需整合的信息的视图, 根

据视图从各个专业源系统获取描述及运行数据并进行规范化。具体包括从能量管理系统获取电网逻辑构成和实时、历史数据,从安全生产管理系统获取资产台账和试验及缺陷报告,从各监测子系统中获取设备监测数据,从气象、山火监测等相关系统获得环境数据等等。获取的数据在平台中根据数据的可信度分为主、辅源依次校验、融合;③通过数据桥自动跟随数据的变化,并更新到平台中;④分配、管理监测点编码;⑤实时分析各类监测数据,转换监测装置递送的底层事件并根据预警条件生成告警;⑥按 UCMM 规范化的模型、实时、历史、事件数据利用标准的 IEC 61970 CIS 服务接口发布;⑦高层分析应用在 UCMM 指引和 CIS 服务支持下实现报警确认、数据展示及综合分析。

UCMM 作为系统设计和实现的顶级约束,从语义环节保证了信息的可用性。源自多个系统的数据整合、规范化构成的输变电设备状态监测统一建模数据,其数据的完整性、规范性和准确性均优于单一系统,消除了数据挖掘和深度分析的障碍。

现平台已完成 1550 座变电站和 3767 条线路的 UCMM 建模,其中主变为 3189 台、断路器为 11438 台、杆塔为 164140 基,所有信息已汇聚融合并提供 CIS 发布。

5 结论

内在存在关联关系的信息通过模式抽象后建立统一的信息模型并在信息系统中进行统一全景式管理,可以发掘出彼此关联的海量数据的内在价值。通过将输变电设备状态监测及分析相关的(逻辑)电网模型、物理设备、监测点、试验报告、缺陷信息、运行数据等抽象建立 UCMM,并基于 UCMM 构建远程诊断中心数据平台,已经初步达到状态监测信息规范管理、去冗、支持电力设备状态分析及数据多维发掘的目的。

随着在线监测技术的深入发展应用,UCMM 将持续融入更多的设备状态、指标评估、环境监测等数据的模型。按模型扩展、数据规范化汇集至平台、标准化数据发布、基于一体化的规范化数据构建及扩展应用等步骤完成 UCMM、平台、应用软件的协同升级,实现信息模型主导的远程诊断中心数据平台和智能应用的有序发展。

参考文献

[1] 倪宏坤,徐玉琴,王立晶. 电力系统并行输电断面风险评估的研究[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(9): 93-96.

- NI Hong-kun, XU Yu-qin, WANG Li-jing. Research on risk assessment of power system parallel transmission section[J]. Power System Protection and Control, 2012, 40(9): 93-96.
- [2] 高振兴,郭创新,俞斌,等. 基于多源信息融合的电网故障诊断方法研究[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(6): 17-22.
- GAO Zhen-xing, GUO Chuang-xin, YU Bin, et al. Study of a fault diagnosis approach for power grid with information fusion based on multi-data resources[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(6): 17-22.
- [3] 王英英,罗毅,涂光瑜,等. 电力系统连锁故障的关联模型[J]. 电工技术学报, 2012, 27(2): 204-209.
- WANG Ying-ying, LUO Yi, TU Guang-yu, et al. Correlation model of cascading failures in power system[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2012, 27(2): 204-209.
- [4] 关龙,刘志刚,徐建芳,等. 基于模型的配电网故障诊断关键问题研究[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(20): 145-150.
- GUAN Long, LIU Zhi-gang, XU Jian-fang, et al. Key issues with model-based diagnosis in distribution network[J]. Power System Protection and Control, 2012, 40(20): 145-150.
- [5] 宋洪磊,吴俊勇,吴林峰. 电力系统紧急情况下的动态分区和自主解列策略[J]. 电工技术学报, 2012, 27(1): 224-229.
- SONG Hong-lei, WU Jun-yong, WU Lin-feng. Dynamic partitioning and active-split strategy in power system emergency control[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2012, 27(1): 224-229.
- [6] 吴耀祖,娄素华,余永泉,等. 电力市场环境输电线路过载风险评估[J]. 电工技术学报, 2012, 27(2): 198-203.
- WU Yao-zu, LOU Su-hua, YU Yong-quan, et al. Overload risk assessment of power transmission line under power electrical market environment[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2012, 27(2): 198-203.
- [7] 邹建明. 在线监测技术在电网中的应用[J]. 高电压技术, 2007, 33(8): 203-206.
- ZOU Jian-ming. Application of on-line monitoring technology on power grid[J]. High Voltage Engineering, 2007, 33(8): 203-206.

- [8] 韩如月, 李俊刚, 宋小会, 等. 输变电设备状态监测系统设计[J]. 高压电器, 2012, 48(1): 58-63.
HAN Ru-yue, LI Jun-gang, SONG Xiao-hui, et al. Design of condition monitoring system for power transmission and transformation equipment[J]. High Voltage Apparatus, 2012, 48(1): 58-63.
- [9] 张怀宇, 朱松林, 张扬, 等. 输变电设备状态检修技术体系研究与实施[J]. 电网技术, 2009, 33(13): 70-73.
ZHANG Huai-yu, ZHU Song-lin, ZHANG Yang, et al. Research and implementation of condition-based maintenance technology system for power transmission and distribution equipments[J]. Power System Technology, 2009, 33(13): 70-73.
- [10] 柳劲松, 李晓露, 刘东, 等. 输变电设备状态检修系统的基础数据服务平台分析[J]. 华东电力, 2010, 38(2): 216-219.
LIU Jin-song, LI Xiao-lu, LIU Dong, et al. Analysis data service foundations of state maintenance system for power transmission and transformation equipment[J]. East China Electric Power, 2010, 38(2): 216-219.
- [11] 李明, 韩学山, 杨明, 等. 电网状态检修概念与理论基础研究[J]. 中国电机工程学报, 2011, 31(34): 43-52.
LI Ming, HAN Xue-shan, YANG Ming, et al. Basic concept and theoretical study of condition-based maintenance for power transmission system[J]. Proceedings of the CSEE, 2011, 31(34): 43-52.
- [12] IEC 61970-301 energy management system application program interface (EMS-API), part 301: common information model (CIM) base[S]. Edition 2.0. IEC, 2009.
- [13] IEC 61968-11 system interfaces for distribution management, part 11: common information model (CIM) extensions for distribution[S]. IEC, 2010.
- [14] IEC 61970-501 energy management system application program interface (EMS-API), part 501: common information model resource description framework (CIM RDF) schema[S]. IEC, 2006.
- [15] 吴秋果, 卢苇. 对象关系映射模式的研究与设计[J]. 航空计算技术, 2007, 37(6): 92-95.
WU Qiu-guo, LU Wei. Study and design of O/R mapping[J]. Aeronautical Computing Technique, 2007, 37(6): 92-95.

收稿日期: 2013-08-09; 修回日期: 2013-09-29

作者简介:

谢善益(1971-), 男, 教授级高级工程师, 工学硕士, 主要从事电网自动化系统研究开发和技术管理工作。
E-mail: kways@126.com